

Diseño metodológico para la Evaluación y Monitoreo de la Biodiversidad en las microcuencas hidrográficas de los ríos Illangama y Alumbre de la provincia de Bolívar



A. Cárdenas

Proyecto “Watershed-based natural resource management in small-scale agriculture: sloped areas of the Andean region” - “Manejo de microcuencas basado en recursos naturales en agriculturas de pequeña escala: áreas de pendiente de la región Andina”.

Realizado por:

ADRIANA CÁRDENAS CHÁVEZ
JUAN ANDRÉS CALLES LÓPEZ
DAVID SALVADOR PEÑA



Octubre, 2006

"This publication/presentation was made possible through support provided by the United States Agency for International Development (USAID) for the Sustainable Agriculture and Natural Resources Management Collaborative Research Support Program (SANREM CRSP) under terms of Cooperative Agreement Award No. EPP-A-00-04-00013-00 to the Office of International Research and Development (OIREED) at Virginia Polytechnic Institute and State University (Virginia Tech)."

1. INTRODUCCIÓN

Aspectos Generales

Ecuador, con sus características agro-ecológicas, diversidad de climas, topografía, pluviosidad, se convierte en un escenario apto para una amplia gama de producción agrícola. En el país, ha existido un proceso en el cual se han orientado los esfuerzos hacia aprovechar esta realidad y dejar atrás la agricultura que contamina y deteriora por otra que enfoca la conservación de los recursos naturales en el marco de la producción de alimentos, del agua, biodiversidad, oxígeno y belleza escénica.

Con el fin de fortalecer la conservación e incrementar las posibilidades del uso adecuado de los recursos de las cuencas hidrográficas de Ecuador, disminuyendo el mal uso del agua, suelo, especies vegetales y animales, se enfoca el manejo de los recursos naturales en estas áreas a través de este proyecto en dos microcuencas específicas de la provincia de Bolívar, la primera perteneciente al Río Illangama y la segunda al Río del Alumbre. Para ello se cuenta con la participación de varias instituciones en la ejecución de este proyecto SANREM CRSP (Sustainable Agriculture and Natural Resource Management Collaborative Research Support Project) financiado por USAID, entre las que constan Virginia Tech, Penn U., Florida A&M, CIP, INIAP, IFPRI, ECOPAR, SIGAGRO-MAG y Ecociencia, para Ecuador. Esta última encargada de analizar el estado actual de los remanentes de biodiversidad en las áreas involucradas, así como proponer una metodología para llevar a cabo un monitoreo en el cual las comunidades se involucren en el mismo. Simultáneamente, Ecociencia participa en el modelamiento de las microcuencas involucradas para evaluar el estado del agua y el suelo en dichas áreas, en conjunto con los especialistas del Virginia Tech.

Para contribuir en el manejo integral de las cuencas hidrográficas y en el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes, es prioritario llevar a cabo un análisis biogeográfico detallado de los recursos naturales que componen la unidad de estudio, en este caso microcuencas. Para lo cual es necesario recopilar y procesar información georreferenciada que caracterice las propiedades físicas y biológicas del área. El número de estudios sobre biodiversidad en la zona son muy pocos, por lo que merece especial atención la generación de información sobre biodiversidad en el área. Para llevar a cabo esta etapa contamos con herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica) y capacidades de modelamiento y análisis de la información producida.

Finalmente, especial mención merece la agricultura de conservación que se procura insertar en estas áreas, y se la realiza en cuencas hidrográficas, acercando a la gente (políticos, técnicos, agricultores/as, sociedad civil) a descubrir el potencial de producción de las cuencas, mostrando interés por un cambio tecnológico para demandar de ellas entre otras cosas alimento, agua para estas y las futuras generaciones.

2. OBJETIVOS

GENERAL

- Plantear una metodología para el monitoreo de la biodiversidad a nivel local en las áreas de estudio involucradas utilizando indicadores biológicos y bio-físicos.

ESPECÍFICOS

- Establecer indicadores biológicos para la evaluación y monitoreo de la biodiversidad a nivel local.
- Establecer indicadores bio-físicos para la evaluación y monitoreo de la biodiversidad a nivel local.
- Efectuar un inventario de diversidad de plantas, aves, mamíferos, anfibios y reptiles en las microcuencas de los ríos Illangama y Alumbre en la provincia Bolívar, para una posterior determinación de los grupos indicadores.
- Construir el mapa de cobertura vegetal y uso actual del suelo para las dos microcuencas involucradas
- Llevar a cabo un estudio multitemporal de la cobertura vegetal como insumo para construcción de indicadores bio-físicos como es el cambio de la cobertura vegetal.

3. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio fue establecida tras una reunión entre las organizaciones involucradas en el proyecto "Watershed-based Natural Resource Management in Small-scale Agriculture: Sloped Areas of the Andean Region" reunidas en un taller en la ciudad de Guaranda en el mes de Junio del presente año. Tras haber recorrido la subcuenca del río Chimbo, en su parte alta, media y baja, se determinó que el estudio se realizará en dos microcuencas de la subcuenca del río Chimbo, en la provincia Bolívar. Se llegó a esta decisión considerando los limitantes presupuestarios y logísticos del proyecto.

Contamos con dos microcuencas hidrográficas, ambas pertenecientes a la subcuenca del río Yaguachi, a la cual pertenece el río Chimbo. En la zona alta de la misma, entre un rango altitudinal de 2800m y 5000m se encuentra la microcuenca del Río Illangama (Zona del Alto Guanujo), y en la zona media de la subcuenca, trabajamos en la microcuenca del Río Alumbre (Zona de Chillanes) que se encuentra en un rango altitudinal de 1200m y 3100m, y con un área de 130.66 km² y 65.40 km², respectivamente. (Fig. 1).

3.1. Microcuenca del río Illangama

La zona de estudio del río Illangama tiene una extensión de 130 Km², ubicada en el cantón Guaranda, provincia Bolívar en el sector denominado en el contexto del proyecto como Alto Guanujo. La parte alta de la microcuenca en alturas mayores de 4000 m se encuentra en la zona de páramo de arenales y super-páramo, la parte media de la microcuenca se encuentra en la zona de páramo de pajonal y páramo herbáceo. La precipitación en la zona fluctúa entre 1000 y 2000 mm de lluvia. Parte de la zona de estudio se encuentra dentro de los límites de la Reserva de producción faunística Chimborazo, específicamente sobre la cota de 3800m (Fig. 1).

Sin embargo, en esta zona durante los últimos años ha existido una ampliación de la frontera agrícola hacia límites altitudinales mayores, alcanzando en algunas zonas los 4000m. En la parte alta de la microcuenca se observan señales de erosión eólica y de erosión por sobre-pastoreo evidenciando las fuertes presiones a las que se encuentra sometido el páramo en esta área (Fig. 2).

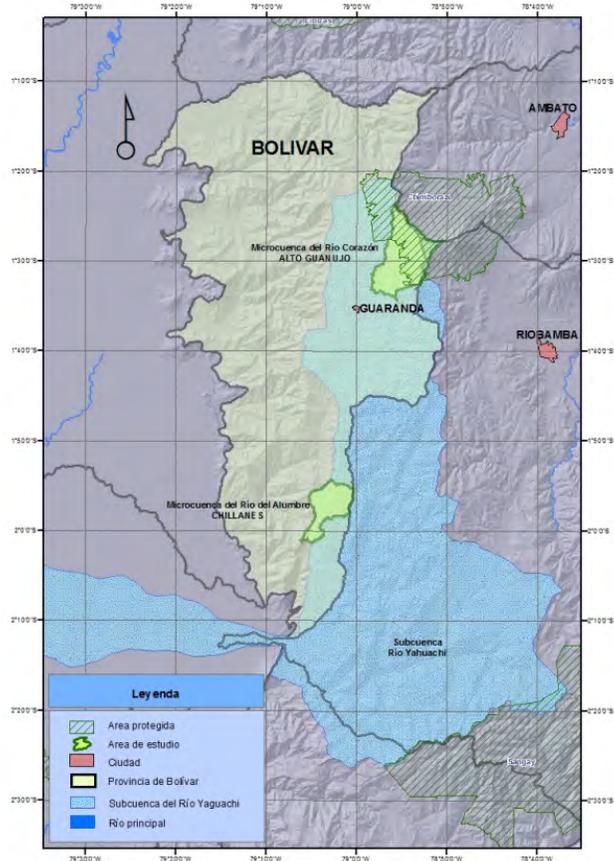


Figura 1. Contexto área de estudio – Microcuencas Río Illangama y Río Alumbre



Figura 2. Actividades ganaderas en la microcuenca del río Illangama. Foto: Juan Calles.

Los principales productos de la zona son papas, mellocos, habas, trigo y cebada, y además existe presencia de ganado vacuno principalmente para la producción de

quesos. Adicionalmente existen áreas en las cuales se ha reforestado con especies exóticas como el pino (*Pinus radiata*) (Fig. 3).

Esta microcuenca es de particular importancia pues en algunos sitios de ésta se ubican las captaciones para el agua potable para la ciudad de Guaranda, agua que proviene de los deshielos del nevado Chimborazo. En los últimos años hay una creciente problemática por el uso del agua entre las zonas campesinas en la parte alta de la microcuenca y la ciudad de Guaranda. Este conflicto por el uso del agua se hace más evidente en la época de verano cuando la cantidad de agua disponible se ve reducida.



Figura 3. Vista de la zona de estudio, se observan el páramo de arenales, el páramo herbáceo, las zonas de cultivo y las plantaciones de pino (*Pinus radiata*).

Biodiversidad de la zona

La biodiversidad de los páramos del Ecuador y de esta zona en particular es muy poco estudiada y conocida. Sin embargo, se conoce que de acuerdo a la distribución natural de varias especies, es probable la presencia de varias especies de animales y plantas en la zona, descritas para otras zonas o lugares similares del país. Los páramos en el Ecuador se encuentran amenazados por la ampliación de la frontera agrícola y la ganadería en estas zonas.

Plantas

En cuanto a las plantas, la vegetación del páramo en la zona de pajonales está constituida principalmente por especies de los géneros *Calamagrostis*, *Festuca* y *Stipa*. En la parte alta junto al límite de páramo se pueden encontrar remanentes de bosque andino, en especial en las quebradas. Se conoce además que en la zona existen pequeños remanentes de bosques de *Polylepis* sp. Además, existen en la zona árboles de arrayanes y quishuar.

Aves

Este grupo es muy diverso en el país y su diversidad es alta también en los páramos. El ave de mayor distribución en las zonas altas de los páramos del Ecuador es el cóndor andino (*Vultur gryphus*), sin que se tengan reportes de observaciones de esta ave en

la zona. Una ave importante en la zona es el colibrí estrella del Chimborazo (*Oreotrochilus chimborazo*), cuya presencia fue reportada inicialmente en este páramo. Esta especie se alimenta de las flores de chuquiragua (*Chuquiraga jussieu*) y otras flores de páramo.

Mamíferos

En la reserva de producción faunística Chimborazo ubicada en la parte alta de la microcuenca se ha efectuado la introducción de llamas (*Lama glama*) y vicuñas (*Vicugna vicugna*) en los últimos años (Fig. 4). Esto como parte de una iniciativa del ministerio de agricultura para generar nuevos ingresos para los pobladores de esta zona por medio del aprovechamiento de la carne y la lana de estos camélidos. En la zona se espera la presencia de lobos de páramo (*Pseudalopex culpaeus*), conejos (*Sylvilagus brasiliensis*) y venados (*Odocoileus virginianus*). En cuanto a micromamíferos se sabe que en los páramos existen varias especies endémicas para las zonas altas.



Figura 4. Vicuñas (*Vicugna vicugna*) en las faldas del volcán Chimborazo. Foto: Juan Calles L.

Anfibios

Los anfibios presentan un alto endemismo en los páramos del Ecuador. Las especies predominantes a estas alturas son *Eleutherodactylus* spp. y *Atelopus* spp., sin embargo, éste último género ha sufrido declinaciones de sus poblaciones e inclusive muchas especies se consideran extintas. La especie de anfibio denominado Puca Sapo *Atelopus guanujo* fue descrita recientemente (Coloma et al. 2005) y es conocida de localidades ubicadas en las cercanías de esta zona de estudio y en las cercanías del río Illangama, sin embargo se cree que es una especie extinta en la zona. La fragilidad de este grupo en las zonas altas del páramo hace que estudios sobre este grupo a estas alturas sean muy importantes.

Peces

En la zona se ha establecido piscinas para el cultivo de la trucha (*Salmo trutta*), además se conoce de su presencia en algunos riachuelos del sector. Sin embargo, no

se posee información adicional sobre la posible presencia de preñadilla (*Astroblepus* spp.) en ríos de esta zona, cuya presencia ha sido reportada en zonas de páramo.

Macroinvertebrados acuáticos

Durante la visita preliminar realizada en el mes de junio por el Dr. Wills Flowers a la zona de estudio en el Alto Guanujo, se pudo efectuar colecciones de macroinvertebrados donde se encontró invertebrados que indicaron una buena calidad de agua en los ríos del sector con algunos patrones variables, debidos probablemente a la presencia de trucha en éstos ríos.

3.2. Microcuenca del río Alumbre

La zona de estudio del río Alumbre tiene una extensión de 6 540 ha, ubicada en el cantón Chillanes, al sureste de la provincia Bolívar. En la parte alta de la microcuenca ubicada a 2800m de altitud se encuentra en la zona de bosque montano alto y la parte baja de la microcuenca corresponde a bosque montano bajo a una altitud de 1800 m aproximadamente (Fig. 1). La vegetación natural ha sido casi completamente destruida y modificada para pastos y cultivos de ciclo corto, especialmente de maíz. En la zona aun existen pequeños remanentes de vegetación, especialmente en las quebradas (Fig. 5).





Figura 5. Cultivos de maíz, zonas de crianza de ganado y remanentes de vegetación en la zona del río Alumbre.

Biodiversidad de la zona

Existen muy pocos estudios realizados en las cercanías de la zona de estudio, el sitio más cercano del cual se posee un estudio de aves es el bosque Tiquibuzo. Hacia la parte norte de la zona de estudio se encuentra el bosque protector Cashca Totoras, en el cual se han efectuado estudios de aves y anfibios especialmente. Los resultados de los estudios realizados en este bosque nos brindan una aproximación de la diversidad que podríamos encontrar en el área de estudio. Otros estudios realizados en bosques nublados y montanos indican que estas zonas ubicadas en las estribaciones de la cordillera oriental y occidental presentan altos niveles de diversidad de flora y fauna.

Plantas

La zona de estudio corresponde a bosque montano alto, se conoce que las zonas de bosques montanos y nublados poseen una alta diversidad de plantas. Las especies características de la zona son la palma de la cera (*Ceroxylon parvifrons*), guarumo (*Cecropia* sp.), pambil (*Iriartea deltoidea*), cascarilla (*Croton eluteria*), y arrayán (*Myrcianthes hallii*) entre otras, y una amplia variedad de plantas epifitas como helechos, bromelias, y orquídeas.

Los remanentes de vegetación localizados en pequeños parches en el área de estudio son los últimos espacios de vegetación original que se puede observar en la zona. Por lo que conocer la composición de la vegetación será un gran aporte para emprender procesos de conservación en el área de estudio..

Aves

El área de estudio se encuentra adyacente al área denominada Tiquibuzo un área importante para aves IBA "Important Bird Area" (por sus siglas en inglés), zona declarada como de importancia de conservación para aves (BirdLife, 2005). Una especie símbolo de la zona es el loro *Aratinga erythrogenys* que se encuentra casi amenazada. Sin embargo, su presencia puede provocar conflictos con los habitantes de

la zona pues estas aves utilizan los sembríos de maíz para alimentarse y para descansar (Freile et al. 2004).

Mamíferos

Las estribaciones occidentales y orientales de la cordillera de los Andes como es el caso de la zona de estudio del río Alumbre posee especies como venados, armadillos (*Dasyus* sp.) y varias especies de micro-mamíferos terrestres (ratones) y voladores (murciélagos)

Anfibios

Los bosques nublados y montanos de Ecuador presentan altos niveles de endemismos en este grupo. Las mayores declinaciones de los anfibios en el Ecuador han ocurrido precisamente en estos bosques, y los remanentes de estos bosques en las estribaciones de la cordillera son claves para la preservación de este grupo. De los datos que se conocen del Bosque Cashca Totoras a pocos kilómetros al norte de la zona de estudio se desprende la existencia de varias especies endémicas de la zona como es el caso de la rana *Eleutherodactylus simonbolivari*.

Peces

No se conoce de la presencia de especies nativas en la zona, sin embargo es probable que al igual que en el caso de la zona del Alto Guanujo, existan piscinas de cultivo de truchas. De la misma manera es posible la presencia no reportada de peces nativos como las preñadillas (*Astroblepus* spp.) en los riachuelos de la zona. La presencia de *Astroblepus* spp. ha sido reportada en altitudes y zonas de vida similares que la del río Alumbre en Chillanes.

Macroinvertebrados acuáticos

Durante la visita preliminar realizada en el mes de junio por el Dr. Wills Flowers a la zona de estudio se pudo efectuar colecciones de macroinvertebrados donde se encontró invertebrados que indicaron una buena calidad de agua, en especial en ciertos tramos de ríos en donde las zonas de ribera poseían cobertura vegetal.

4. METODOLOGÍA

4.1. INDICADORES BIOFÍSICOS

A los indicadores biofísicos se los considera para este estudio a aquellos medidores relacionados directamente con estado de la cobertura vegetal. Esta metodología se llevará a cabo, utilizando como referencia la metodología de indicadores establecidos para analizar la intergridad ecológica de un sistema, es decir que evalúa la salud de un sistema ecológico (Cuesta, et, al. 2005). La selección de los indicadores la realizamos con base en los criterios sugeridos por Noss (1990) y a las consideraciones metodológicas de TNC¹ respecto de la selección de atributos ecológicos clave (Poiani et al. 2000; Parrish et al. 2003). Adicionalmente, consideraremos al cambio de cobertura vegetal como un indicador dinámico útil para evaluar nuestros objetivos.

¹ The Nature Conservancy

4.1.1. ANÁLISIS DE CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO

Definición de la leyenda de cobertura vegetal

Esta debe ser coherente y compatible con la fuente de extracción de la información temática, en este caso la cobertura vegetal. Simultáneamente, se debe caracterizar por la consistencia de la misma en el tiempo, ya que al tratarse de un análisis multitemporal la leyenda es el elemento decisivo en base al cual se determinan las tasas de cambios de cobertura vegetal.

Para la categorización de las formaciones vegetales se recurre a hacer un análisis ecológico y físico de acuerdo a las características propias de cada clase. Simultáneamente, se procura mantener la coherencia con otros estudios realizados en Ecuador, como es "La Vegetación de los Andes del Ecuador", Baquero et, al.

Cartografía base

La cartografía base utilizada para este estudio es proporcionada por SIGAGRO, la misma que se encuentra a escala 1:50.000, digitalizadas de la fuente cartográfica del IGM. En este grupo clasificamos a elementos como son las curvas de nivel, ríos, poblados, vías de acceso, cotas, principalmente.

Utilizando como referencia esta información se realiza la georreferenciación de las imágenes satelitales de las cuales se extrae la cobertura vegetal. Simultáneamente esta información constituye la fuente para la obtención del mapa digital del terreno del que se deriva el análisis de pendientes.

Cartografía temática (cobertura vegetal)

Análisis Digital de imágenes

Para la generación de los mapas temáticos de cobertura vegetal y uso se llevará a cabo la siguiente metodología (Fig. 6):

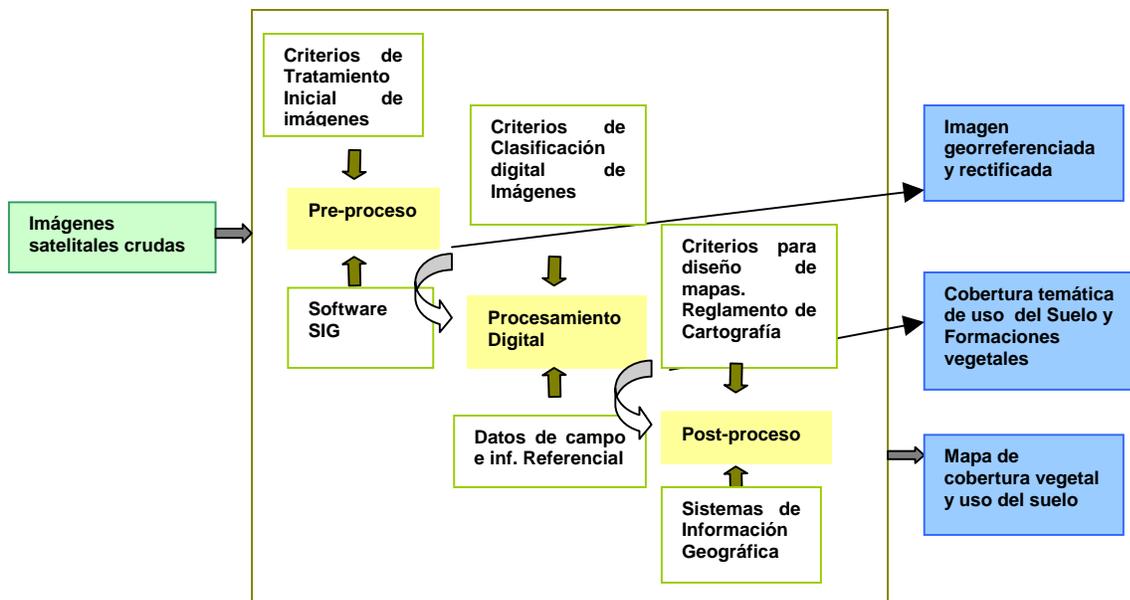


Figura 6. Obtención de la Cobertura Vegetal

Preproceso

En primer lugar se lleva a cabo la corrección geométrica, las imágenes que no han sido sometidas a una corrección geométrica poseen distorsiones significativas por tanto no son hábiles para realizar mapas. Lo que se hace en este paso es modificar la geometría de la imagen, es decir corregir su posición y coordenadas.

Adicionalmente, se realiza la georreferenciación y rectificación de la imagen, la que se hace a partir de ajustar puntos evidentes de la misma a un conjunto de puntos evidentes en el vector u otra imagen previamente ajustada de referencia. Se transformaron los datos de un sistema de grilla (imagen), a otro usando una transformación afín. El valor residual promedio de georreferenciación utilizado para este proyecto es de 15m, el cual corresponde al valor de resolución de la escala de la cartografía base (1:50.000), que se usa como referencia.

Posteriormente, se somete la imagen a una geocodificación, lo cual quiere decir alinear la información obtenida con la grilla de coordenadas (Norte del mapa), utilizando el algoritmo del vecino más cercano. Este proceso se realiza para las tres imágenes de las tres épocas involucradas en el estudio multitemporal.

Con respecto al sistema de referencia que se utilizará, este es el que poseen las cartas topográficas del IGM a escala 1 : 50.000, es decir, el sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM), en la zona 17 S, y Datum Psad 56 para el Ecuador.

Procesamiento Digital

Se refiere propiamente a la clasificación digital de la imagen. El objetivo que se persigue es categorizar los píxeles en diferentes clases de cobertura del suelo, para finalmente obtener un mapa de cobertura vegetal y uso del suelo.

Se lleva a cabo un realce, se trata de potenciar la información que ha captado el sensor para ser interpretada y acentuar el contraste entre las diferentes firmas espectrales. Para esta etapa se utilizará la combinación de bandas TM RGB 453, y se someterá a los niveles digitales de las imágenes a un realce normalizado.

Después, se agrupan los píxeles de las imágenes de acuerdo a su comportamiento espectral homogéneo, posteriormente, se asignan los nombres adecuados a las categorías de la cobertura obtenida, cuando se realice una inspección en campo. Esta etapa se basa totalmente en procesos computarizados y permite al analizador intervenir asignando algunos parámetros de control sobre el algoritmo que usa el sistema para realizar las agrupaciones.

El trabajo de campo tiene por objeto la recolección de puntos GPS que identifiquen información relevante para la elaboración de una cobertura vegetal supervisada. En esta etapa se aprovecha, además, para registrar fotografías características de las diferentes formaciones vegetales, así como datos de accesibilidad a las mismas.

Al ubicar estos puntos sobre las coberturas iniciales clasificadas, se procede a confirmar a qué tipo de formación vegetal o a qué tipo de uso del suelo, pertenecen cada una de las diferentes reflectancias.

Postproceso

Una vez concluida la interpretación de las imágenes se somete cada nueva cobertura a un proceso de edición. En primer lugar se realiza un filtro de reducción de ruido para

eliminar el efecto pimienta resultante de la interpretación en raster. Luego, se transforman los archivos raster resultantes de la etapa anterior a archivos vector, a los cuales se les somete a un proceso de suavizado y de eliminación de polígonos islas. Se decidió trabajar con archivos vector, ya que estos una vez editados, garantizan la precisión en el cálculo de superficies.

Elaboración de los mapas de cobertura vegetal y uso del suelo para las épocas históricas.

Para construir las coberturas de vegetación y uso actual del suelo de las épocas históricas, se realiza el mismo proceso metodológico de reclasificación de la imagen satelital que para la elaboración del mapa de cobertura y uso actual, con la diferencia que para la supervisión de estos mapas se utiliza información temática secundaria o referencial, creada en épocas cercanas a las de análisis, en lugar de la comprobación de campo.

Análisis multitemporal de cambio de cobertura vegetal

La metodología técnica utilizada para este análisis multitemporal, especialmente para el procesamiento digital e interpretación de las imágenes satelitales, es una semiautomática y visual, que posee grandes ventajas, ya que nos permite mantener el control de todos los elementos de la imagen, ante una interpretación automática en la cual no se puede controlar la incidencia de sombras y nubes, así como la diferencia de niveles digitales entre imágenes de distintas características.

Una vez obtenidas las coberturas de vegetación de las tres fechas estudiadas, se procede a realizar la comparación de las mismas. Se analizan de una manera visual los cambios notorios entre una y otra época, con el objeto de confirmar su coherencia. Una vez aprobada la coherencia de los datos espaciales obtenidos para las tres fechas, se procede a realizar los cálculos de superficies, y las tablas resumen que mostrarán las áreas reales y las relativas con respecto a la superficie de cada microcuenca y a la de cobertura vegetal original del período estudiado.

4.1.2. REPRESENTATIVIDAD DE FORMACIONES VEGETALES NATURALES

La representatividad se la puede evidenciar por la comparación entre el total de un tipo de vegetación, con las áreas de los fragmentos de dicha unidad vegetal. Este índice se expresa en porcentaje de representatividad. Así, un área de gran tamaño es más representativa que una sección de menor tamaño (Martínez, 2005).

Para cada fragmento se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{Representatividad} = \text{Area cada fragmento} * 100 / \text{Area total por tipo de cobertura}$$

4.1.3. ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN

La fragmentación ocurre cuando una porción extensa y continua de un ecosistema es transformada y reducida en uno o varios parches naturales embebidos en una matriz

de áreas disturbadas (Opdan 1991).²: Estos análisis se llevaran a cabo utilizando el software Fragstat³.

a. Patch Density – PD

Esta variable describe el patrón del paisaje a través de relacionar el número de parches con la superficie del paisaje. Para facilitar la comparación entre paisajes de tamaños diferentes la densidad obtenida es multiplicada por 10,000 y 100 para obtener el resultado en relación a una superficie de 100 ha.

$$PD = \frac{n_i}{A} (10,000) (100)$$

b. Largest Patch Index – LPI

Este índice es una medida relativa de la estructura del paisaje que determina el porcentaje del área de paisaje relativo al fragmento más grande.

$$LPI = \frac{\max_{j=1}^n (a_{ij})}{A} (100)$$

El LPI se acerca a 0 si el parche mas grande cubre una superficie pequeña del paisaje; en cambio, si el paisaje consiste de un solo parche el índice equivale a 100, es decir el parche abarque el 100% del paisaje.

c. Mean Patch Size - MPS

Analiza el tamaño promedio de los parches que componen el paisaje. Esta medida es complementaria al PD y muy importante cuando comparas paisajes de diferente tamaño.

$$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \left(\frac{1}{10,000} \right)$$

d. Class Area – Ca

El área de la clase analiza la suma de las áreas (m2) de todos los parches de la distribución de la especie, y la divide para 10.000 para convertir el valor en ha.

$$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10,000} \right)$$

² Cuesta, F., et, al. 2005. Análisis de viabilidad e integridad ecológica de los objetos de conservación.

³ Fragstats, Version 3.3, Build 5. Comando Help.

Donde a_{ij} = area en m² del parche ij

4.1.4. ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD

La conectividad analiza cómo el mosaico que compone el paisaje, facilita o impide los flujos ecológicos o regímenes ambientales que ocurren en un área determinada (p.e. el movimiento de los organismos entre los fragmentos de hábitat). Un cambio abrupto en la conectividad de la vegetación por efectos antrópicos puede afectar los ciclos normales de dispersión exitosa de las poblaciones animales y vegetales⁴.

El grado de conectividad de un paisaje puede ser evaluado desde el grado de conexión *estructural* de los fragmentos y de la conexión *funcional* de dichos fragmentos. La conexión estructural se refiere a la continuidad física de los fragmentos a través del paisaje. La conexión funcional de un paisaje depende del organismo en consideración o del proceso ecológico de interés, lo cual desemboca en la escala y patrones de movimiento de dicho organismo y de la estructura misma del paisaje (With 1990). Las métricas seleccionadas en este estudio analizan la conexión estructural entre fragmentos:

a. Mean Nearest neighbour distance - MNN

Es una unidad de medida de aislamiento de parches. Es la Distancia euclidiana al vecino más cercano (MNND) entre todos los parches de la misma clase (p.e. parches de la distribución de un sistema ecológico):

$$MNN = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n'} h_{ij}}{N'}$$

donde h_{ij} equivale a la distancia (m) del fragmento ij al vecino más cercano de la misma clase. Esta distancia es calculada desde el píxel central de cada uno de los fragmentos.

b. Interspersion and Juxtaposition Index – IJI

El índice de interdispersión, se refiere a la relación porcentual de los fragmentos de diferentes clases dentro del paisaje. Analiza cómo el grado de interrelación natural entre las formaciones vegetales (sistemas ecológicos) se mantiene o es afectado por la matriz de intervención. La Interdispersión aparentemente afecta la calidad del hábitat de las especies que requieren de una alta diversidad gama para cumplir con los requerimientos de sus diferentes etapas de vida (Dunning et al. 1992).

⁴ Cuesta, F., et, al. 2005. Análisis de viabilidad e integridad ecológica de los objetos de conservación.

$$|J| = \frac{- \sum_{k=1}^{m'} \left[\left(\frac{e_{ik}}{m'} \right) \ln \left(\frac{e_{ik}}{m'} \right) \right]}{\ln(m' - 1)} \quad (100)$$

Es decir el valor del fragmento es una función de variación donde e_{ik} = distancia total (m) del borde en el paisaje entre los tipos de parches o fragmentos i y k sobre m , que equivale al número de parches (clases) presentes en el paisaje.

4.1.5. ANÁLISIS DE EFECTO DE BORDE

El efecto de borde se produce al incrementar la superficie exterior del hábitat en relación con las áreas alteradas en detrimento de la superficie interna del hábitat mencionado. Este hecho produce un fenómeno de degradación del hábitat debido a modificaciones microclimáticas evidentes en el perímetro externo del bosque tales como exposición solar, viento y temperatura (Bierregaard et al. 1992). Mientras más pequeños y aislados sean los remanentes del hábitat, repercutirán más en él cambios como la exposición al sol y los vientos, los cuales pueden llevar a un bosque desde un estado óptimo a un estado de desecación, así como también a un incremento en la caída de los árboles y a una alteración en la composición de la vegetación, afectando de esta forma la dinámica del bosque y de las especies animales que dependen de él (Marsh & Pearman 1997). Este factor lo analizamos a través de medir el área efectiva de cada uno de los fragmentos:

a. Total Core Area Index – TCAI (Área Efectiva)

Analiza la cantidad de área interior del paisaje por medio de sumar el área efectiva de cada parche y la divide por el área total de paisaje. Este resultado es multiplicado por 100 con el fin de tener un índice porcentual:

$$TCAI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^c}{A} \quad (100)$$

TCAI es igual cero sí no existe un porcentaje de área efectiva en el paisaje y se acerca a 100 conforme existe un incremento porcentual del área efectiva de los parches remanentes.

b. Mean Shape Index – MSI

MSI analiza el perímetro de cada parche en relación al máximo perímetro mínimo (en este caso un píxel de 30 m) del área correspondiente al parche analizado.

$$SHAPE = \frac{P_{ij}}{m \cdot n \cdot P_{ij}}$$

Donde,

p_{ij} = perímetro del parche ij (expresado en el número de pixels)

$\min p_{ij}$ = perímetro mínimo del parche ij (expresado en el número de pixels)

4.2. EVALUACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

Uno de los primeros pasos en el estudio de los recursos biológicos es la evaluación de la diversidad con respecto a la riqueza de especies en un tiempo y lugar determinado (Wilson et al. 1996). Los grupos indicadores para caracterizar la diversidad a través de inventarios de biodiversidad, comprenden en su gran mayoría taxones de plantas, vertebrados e insectos, los cuales han sido tradicionalmente usados para la estimación de diversidad y suministran información confiable sobre el estado de conservación de un hábitat (Halffter et al. 2001). El uso de grupos indicadores como estrategia para evaluar la biodiversidad y los procesos que la afectan, genera una serie de debates y críticas que permiten delimitar el concepto, precisar el tipo de información que se desea obtener y establecer criterios y su evaluación para la postulación como indicadores (Favila y Halffter, 1997).

4.2.1. Diseño metodológico

El diagnóstico sobre el estado de la biodiversidad en las microcuencas de estudio se basará en la identificación y revisión de fuentes de información (publicaciones, libros, documentos, páginas web) con la finalidad de investigar los métodos y técnicas más apropiadas para la evaluación de la diversidad biológica, con miras a ser utilizadas como una herramienta a futuro, dentro de un proceso de monitoreo participativo que permita conocer el estado de salud de estos ecosistemas (microcuencas) a través de la definición y selección de indicadores biológicos.

Para inventariar y caracterizar el estado de la biodiversidad en las microcuencas es indispensable restringir los muestreos a sólo unos cuantos componentes de la biodiversidad, ya que el conocimiento taxonómico, el financiamiento y el esfuerzo necesario para levantar la información (tiempo disponible), son algunos de los limitantes para la ejecución de este estudio, criterios por los cuales, el presente considerará únicamente a ciertos grupos de flora y fauna terrestre (vertebrados).

Estos serán, plantas vasculares, mamíferos, aves, anfibios y reptiles. Se escogieron estos cinco taxones debido a que su clasificación taxonómica es clara, son altamente representativos de la diversidad biológica, son grupos carismáticos y sobre ellos existe la mayor cantidad de información secundaria disponible (biología, historia natural, registros, etc) (Cuesta et al. 2005). Adicionalmente se realizarán muestreos de macroinvertebrados bénticos en ambas microcuencas como indicadores de calidad ambiental.

Mediante estos inventarios de la biodiversidad en las microcuencas será posible evaluar, si la riqueza de especies es alta, o si la presencia de especies con rangos de distribución restringida señala la presencia de endemismos, o si la disminución de la abundancia de especies y grupos se debe al efecto de disturbios humanos. Por tanto, los grupos biológicos y metodologías seleccionadas estarán íntimamente relacionados a los intereses y objetivos del presente proyecto.

Existen múltiples técnicas y métodos de campo para el estudio de la diversidad biológica de un área determinada. A continuación se describen las que hemos considerado tienen un alto grado de aplicabilidad en el terreno y que podrían ser empleadas a futuro en un programa de monitoreo participativo.

4.2.1.1. Plantas

La vegetación es el conjunto que resulta de la disposición en proporciones dadas en el espacio, de los diferentes tipos de especies vegetales en un territorio determinado. Su estudio está relacionado con el conocimiento de la relación de unas especies con otras y del conjunto con el medio, poniendo énfasis en la estructura y composición florística. Los inventarios de plantas por medio de parcelas o transectos estandarizados permiten obtener información sobre las características cualitativas y cuantitativas de la vegetación del área, sin necesidad de estudiarla o recorrerla en su totalidad (Villareal et al. 2006).

Métodos para el estudio de la vegetación

Transectos

El método de transectos permitirá en forma rápida conocer la diversidad vegetal, composición florística y especies dominantes para poder sugerir acciones de manejo y conservación en las microcuencas. Será necesario antes de aplicar los transectos hacer un reconocimiento de campo, si es posible obtener mapas de las formaciones vegetales del área de estudio.

Un transecto es una porción alargada de vegetación (Figura 6). Dependiendo del tipo de bosque variará la distancia del transecto y el número de transectos. En bosques secos espinosos y transiciones a nublados por ejemplo, es suficiente 5 transectos de 50 x 2m, y las especies evaluadas son a partir de 2,5 cm de DAP en adelante, y en páramos, de 50 cm de alto sin importar el DAP, para matorrales de los Fluvial Alto Andinos con 1 transecto de 50 x 2 m es suficiente (Cerón, 1993).

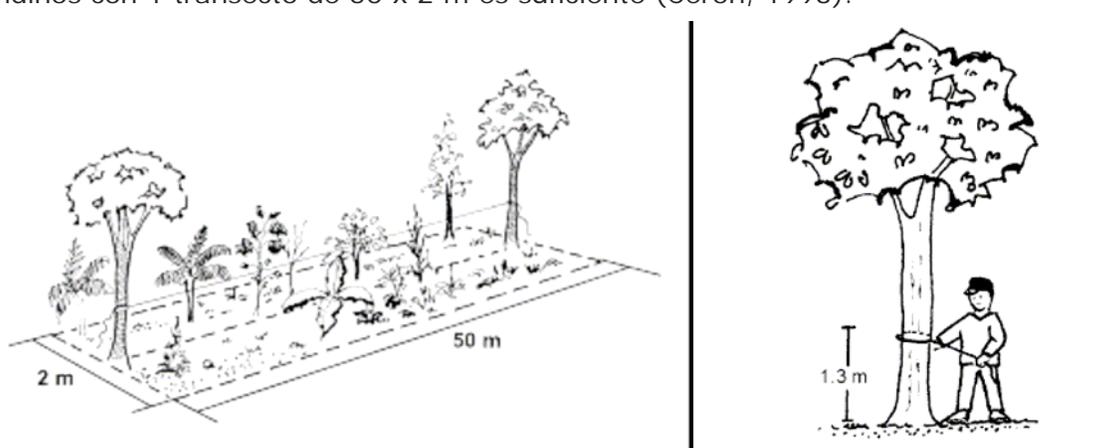


Figura 6. Forma típica de un transecto y medición del DAP

Ventajas y desventajas del uso de plantas para el monitoreo comunitario

Ventajas

- Se pueden establecer cuadrantes permanentes en la zona en los lugares con vegetación remanente.

Desventajas

- Se necesita un gran conocimiento de la taxonomía botánica para efectuar un monitoreo permanente por parte de la comunidad.
- Se necesita que botánicos bien entrenados se encarguen del monitoreo a largo plazo.

4.2.1.2. Aves

Las aves son un grupo muy diverso y excepcionalmente bien estudiado. Conforman el taxón de vertebrados terrestres más variado y su ecología, comportamiento, biogeografía y taxonomía son relativamente bien conocidos, lo que las transforma en un grupo sólido para utilizarlo con propósitos de evaluación y monitoreo (Furness et al. 1993). El estudio de la estructura de las comunidades de aves proporciona un medio rápido, confiable y replicable de evaluación del estado de conservación de la mayoría de hábitats terrestres y acuáticos (Villareal et al. 2006).

Las aves poseen una serie de características que las hacen ideales para inventariar gran parte de la comunidad con un buen grado de certeza y así caracterizar los ecosistemas y los hábitats en que residen. Algunas de estas características son: 1) comportamiento llamativo, 2) identificación rápida y confiable, 3) son fáciles de detectar, y 4) son el grupo animal mejor conocido y estudiado (Stotz et al. 1996).

Métodos para el estudio de Aves

Registros Auditivos – Visuales (Transecto Lineal)

Se realizarán recorridos a pie por senderos establecidos en cada uno de los distintos tipos de vegetación o hábitats presentes en el área de las microcuencas, a una velocidad constante (p.e. 1 km por hora). Los recorridos se realizarán en absoluto silencio, por lo que se harán las detecciones a lo sumo con dos observadores. Los muestreos se realizarán en las horas de mayor actividad de las aves, es decir, en las primeras horas de la mañana y hacia el final de la tarde. Será importante estar en el sendero justo antes del amanecer (entre las 5:00 y 6:00) y realizar el muestreo hasta al menos las 10:30; y en la tarde desde las 16:00 y continuar hasta que comience a oscurecer (entre las 17:30-18:30).

Durante el recorrido por el transecto (Fig. 7) o sendero se anotarán de manera sistemática todas las especies de aves registradas visual y/o auditivamente, a cierta distancia del transecto, su número, su comportamiento, ubicación en el estrato del bosque, etc. Para evitar el conteo de las mismas aves, los transectos deberán estar suficientemente espaciados entre sí, al menos 250 -500 m.

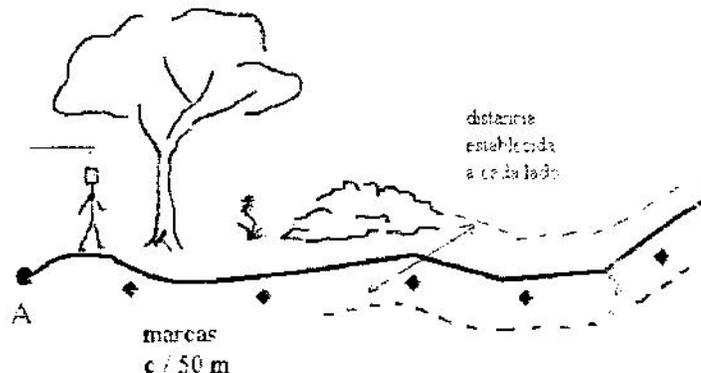


Figura 7. Esquema del método de transecto lineal

Ventajas y desventajas del uso de aves para el monitoreo comunitario

Ventajas

- Con un entrenamiento básico se puede efectuar observaciones de las comunidades de aves en la zona.
- Con un equipamiento básico se puede efectuar el monitoreo por parte de los pobladores de las comunidades.
- Existen muchas guías de identificación y observación de aves desarrolladas para el Ecuador.
- Las aves son un grupo muy vistoso y de fácil observación.
- Las observaciones de las aves se pueden hacer durante las horas de la mañana y facilitar la intervención de las comunidades.

4.2.1.3. Mamíferos

Mamíferos pequeños (murciélagos, marsupiales y pequeños roedores)

Los pequeños mamíferos, especialmente las especies más abundantes, son componentes clave de los ecosistemas forestales. Se estima que los mamíferos no voladores constituyen entre un 15% y un 25% de la fauna de mamíferos en las selvas lluviosas tropicales (Voss y Emmons 1996). Juegan un importante papel en la dispersión de semillas, la polinización, la dispersión micorrizal y en el control de las poblaciones de insectos (Solari et al. 2002). Los pequeños mamíferos son componentes claves en los procesos de sucesión y restauración al dispersar especies pioneras en los sitios de perturbación y en sus alrededores.

Los pequeños mamíferos pueden ser buenos indicadores del cambio en el hábitat, existiendo numerosas especies pioneras cuando se produce una perturbación. Pero debido a su pequeño tamaño, coloración apagada, comportamiento evasivo y hábitos nocturnos, pueden ser difíciles de observar y estudiar (Wilson et al. 1996).

Métodos para el estudio de mamíferos pequeños

Trampas

Para la evaluación de mamíferos no voladores se utilizarán trampas de caja (trampas Sherman). Se utilizarán 50 trampas dispuestas en transectos lineales, con 8 - 10 m entre cada trampa (Suárez y Mena 1994), en cada una de las microcuencas.

Las trampas serán cebadas con una mezcla de mantequilla de maní, avena, vainilla, pasas, miel y diferentes tipos de semillas. Las trampas serán colocadas durante la tarde debido a los hábitos nocturnos de muchas de las especies que pueden ser capturadas. Las trampas serán revisadas durante las primeras horas de la mañana para recolectar los animales capturados, para identificarlos y liberarlos posteriormente, finalmente las trampas serán recebadas diariamente en horas de la tarde.

Redes de niebla

Para la evaluación de micro-mamíferos voladores (murciélagos) se utilizarán redes de niebla (Fig. 8) de 12m y 6m de largo por 2,5 m de alto, colocadas en lugares convenientes tratando de abarcar la mayor cantidad de microhábitats posibles: en quebradas o arroyos, en forma diagonal dentro del bosque, al borde del bosque, etc. (Simmons y Voss 1998, Simmons et al. 2000). Las redes pueden permanecer abiertas

desde las 06:00 pm hasta las 12:00 am aproximadamente, siendo revisadas cada media hora.

Se cuantificará diariamente el esfuerzo y el éxito de captura por lugar de muestreo para el grupo de roedores, marsupiales y murciélagos. Para los primeros dos grupos, el esfuerzo de captura será el producto del número de trampas utilizadas y el tiempo durante el cual dichas trampas fueron monitoreadas, y se expresa como "trampas noche" (Jones et al. 1996). En el caso de los murciélagos, el esfuerzo de captura se obtiene considerando el número de redes de niebla por el número de noches muestreadas, expresado como "redes noche".

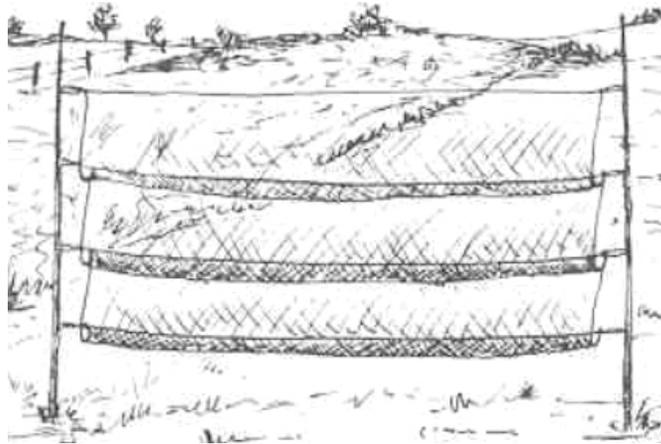


Figura 8. Red de niebla para el estudio de murciélagos

Mamíferos grandes (Carnívoros, edentados, primates y ungulados)

Los grandes mamíferos son responsables en gran parte de la distribución de semillas y plantas polinizadoras, son importantes depredadores y presas y pueden contribuir a causar cambios significativos en la estructura y composición del paisaje y la vegetación circundante.

Métodos para el estudio de mamíferos grandes

Los procedimientos utilizados serán: observaciones directas e identificación de vocalizaciones, búsqueda de rastros (huellas, madrigueras, heces, pelos, restos de alimentos, camas, nidos, caminos, etc.), estaciones de olor y entrevistas a los pobladores locales. Se realizarán observaciones diurnas y nocturnas a lo largo de trochas y/o transectas establecidas. La velocidad aproximada de recorrido podrá ser de 1–1.5 km/hora, parando a ciertos intervalos para facilitar la observación o audición de animales cercanos. Se examinarán todos los niveles del bosque (desde el suelo hasta la parte alta del dosel arbóreo) para detectar cualquier movimiento o ruido.

Se realizarán encuestas a pobladores de las comunidades nativas. Se les preguntará acerca de las especies de mamíferos grandes presentes en su respectiva comunidad y su apreciación de abundancia de dichas especies. Durante las entrevistas se podrán mostrar figuras de animales de una guía de campo (Emmons y Feer, 1997) para ayudarles en la identificación.

Ventajas y desventajas del uso de mamíferos para el monitoreo comunitario

Ventajas

- Las observaciones de mamíferos grandes pueden ser registradas por los habitantes de la zona en sus recorridos diarios por el área de estudio.
- Se puede recopilar información sobre el uso de biodiversidad por parte de los habitantes de las comunidades.

Desventajas

- El uso de micro-mamíferos (murciélagos y ratones) para el monitoreo implica el trabajo de técnicos especializados para efectuar una adecuada identificación.
- Resulta muy complicado que miembros de la comunidad se involucren en el monitoreo de micro-mamíferos ya que este trabajo se lo efectúa en horas de la noche.
- La captura de murciélagos para su observación y conteo requiere de muchos años de entrenamiento para no causar daño ni matar a los animales que sean atrapados en las redes de neblina.
- Las redes de neblina son de uso delicado pues se pueden dañar fácilmente y provocar que el monitoreo se detenga.

4.2.1.4. Anfibios y Reptiles

Los anfibios y reptiles son muy sensibles a los cambios de las condiciones ambientales y generalmente están estrechamente ligados a un hábitat particular, lo que los hace más vulnerables que otros grupos de vertebrados a los cambios en el hábitat. El aumento en las amenazas a la biodiversidad causadas por los seres humanos en general, tiene un marcado impacto negativo sobre los reptiles y especialmente sobre los anfibios (Houlahan et al. 2000).

Los anfibios se consideran como muy buenos indicadores biológicos debido a sus peculiaridades anatómicas, con piel muy permeable a los gases y líquidos del ambiente (incluso a los agentes químicos); sus ciclos de vida que combinan estados larvales acuáticos con estadios adultos terrestres (únicos entre los vertebrados); su extrema especialización ecológica y marcadas preferencias en cuestión de hábitat.

Además, constituyen una importante parte de la biomasa en la mayor parte de los ecosistemas, cumpliendo múltiples funciones dentro de los ecosistemas acuáticos y terrestres, lo que los transforma en valiosos indicadores de la calidad ambiental (Blaustein y Wake 1990, Stebbins y Cohen 1995).

Muchas especies de anfibios se encuentran en un acelerado proceso de declinación de sus poblaciones y observándose en el Ecuador un gran número de especies que se han extinto en los últimos años debido a los cambios ambientales, la mayoría de declinaciones y extinciones han ocurrido en zonas de páramos y bosques montanos.

Métodos para el estudio de anfibios y reptiles

Búsqueda directa no restringida

Consistirá en efectuar caminatas diurnas y nocturnas, en busca de anfibios y reptiles, pero sin que existan mayores reglas para la búsqueda (excepto buscar en todos los lugares posibles). Puede aportar información de manera relativamente rápida acerca

de cuáles especies están presentes y con qué abundancias relativas aproximadas en un sitio homogéneo o bien, por cada estrato de muestreo en un sitio heterogéneo (Sánchez, 2000).

Muestreo visual por transectos

Este tipo de muestreo permitirá la búsqueda intensiva de anfibios y reptiles. Se realizarán recorridos a lo largo de una línea predeterminada, ha efectuarse a una velocidad uniforme, durante los cuales se intentará detectar la presencia de individuos (o grupos) de anfibios o reptiles. Se establecerán transectos lineales paralelos de doble banda de 100 m de largo, con un campo de muestreo de 2 m a cada lado. La separación entre un transecto y otro será de 30 m (Suárez y Mena, 1994).

Al recorrer un transecto de muestreo de anfibios y reptiles, los observadores deberán mantener una velocidad relativamente uniforme y baja, para poder registrar los individuos o grupos; pero ésta no debe ser demasiado baja, pues ello aumentaría la probabilidad de registrar a un individuo, o grupo de individuos, más de una vez.

Ventajas y desventajas del uso de anfibios y reptiles para el monitoreo comunitario

Ventajas

- Los anfibios son muy sensibles a cambios en las condiciones ambientales.
- Los anfibios poseen una estrecha relación con los cursos de agua y su alteración afecta directamente a las poblaciones de anfibios.

Desventajas

- Para localizar la mayoría de especies es necesario que el muestreo se realice en horas de la noche.
- Las especies son difíciles de localizar si no se posee un entrenamiento adecuado.
- La identificación de las especies puede ser complicada aun para especialistas de este grupo.
- No sería un grupo adecuado para ser utilizado en un monitoreo comunitario.

4.2.1.5. Macroinvertebrados acuáticos

En la actualidad se encuentra ampliamente aceptado, el empleo de macroinvertebrados bentónicos, como especies bioindicadoras, para evaluar y monitorear la calidad del agua (González del Tánago et al. 1984, Goitia y Maldonado 1992). Los mismos poseen una variedad de ventajas, en comparación a los métodos analíticos físico químicos (Thorne y Williams 1997), debido principalmente a los bajos costos, su alta sensibilidad a diferentes grados de contaminación y alteración de los cauces de los ríos, cuya composición y estructura de las comunidades bentónicas dan una respuesta integradora a todos los factores que componen o alteran al ecosistema (Goitia y Maldonado, 1992; Alba-Tercedor, 1996; Thorne y Williams, 1997). Por estas razones los hace interesantes e ideales para el monitoreo ambiental de las cuencas hidrográficas.

Muestreo de macroinvertebrados

El muestreo de macroinvertebrados acuáticos, se realizará utilizando una red de mano tipo D-net con una malla de apertura de 250 μm y una área de 0.1 m^2 (Fig. 9 (1)). La aplicación del método consiste en introducir la red de mano al fondo del río en sentido contrario a la corriente de agua, mientras por delante el operador procede a remover y golpear el sustrato dinámicamente con los pies, este procedimiento se realiza en un lapso de 20 segundos (Molina et al. 2006).

El contenido de la red se depositará a un envase de boca ancha (500ml) con agua (Fig. 9 (2)), se filtrará el agua del envase en un tamiz, posteriormente el contenido del tamiz será depositado sobre una bandeja de color blanca (poco profunda), luego se procederá a separar con la ayuda de una pinza entomológica en función a la abundancia y riqueza de familias de la fauna béntica presentes. Los macroinvertebrados se colocarán en un frasco con formol a 10% como fijador y alcohol al 70%. Posteriormente la muestra será llevada al laboratorio para la posterior identificación taxonómica y análisis más minucioso de la muestra.



Fotos: Fundación Agua

Figura 9. 1) Muestreo de macroinvertebrados con red de mano tipo D-net 2) Envase de boca ancha de 500 ml para la recolección de macroinvertebrados acuáticos

Ventajas y desventajas del uso de macroinvertebrados para el monitoreo comunitario

Ventajas

- Con una capacitación básica las comunidades puede efectuar el monitoreo básico de la calidad de agua de los ríos de su área.
- Es de bajo costo, los materiales necesarios son económicos y fáciles de conseguir.
- Se pueden aplicar índices de calidad de agua desarrollados previamente.

Desventajas

- Se necesita de un fuerte compromiso por parte de algunas personas de la comunidad para efectuar la colección de muestras en los ríos.

4.3. INDICADORES BIOLÓGICOS

4.3.1. Grupos indicadores

Para llevar efectivamente un proceso de monitoreo de la biodiversidad es necesario contar con herramientas adecuadas para determinar los cambios. En el caso de la biodiversidad se utilizan grupos indicadores como son los indicadores biológicos o bioindicadores. Estos son especies o grupo de especies que se utilizan para establecer el estado de conservación de una determinada zona. Los bioindicadores han sido ampliamente utilizados para determinar los impactos que pueden tener las actividades humanas como las industrias o la agricultura sobre los ecosistemas tanto terrestres como acuáticos.

Todos los grupos biológicos pueden ser utilizados como bioindicadores, tanto bacterias, hongos, plantas o animales. Sin embargo, hay grupos cuyo monitoreo es más complicado y costoso como el caso de bacterias u hongos, por lo que tradicionalmente se han utilizado a las plantas y aves especialmente como buenos indicadores de la calidad del ambiente en muchos estudios.

4.3.2. Metodología para la determinación de grupos indicadores

Para el establecimiento de los grupos biológicos indicadores se efectuará una evaluación de la información disponible. Idealmente sería deseable trabajar con todos los grupos previamente descritos, sin embargo debido a limitaciones presupuestaria y otras limitantes prácticas como nivel de capacitación de los pobladores, falta de equipos, y de información biológica de la flora y fauna de la zona, luego de la evaluación ecológica rápida que se empieza a inicios del mes de noviembre, se efectuará una priorización de los grupos a utilizarse. Una vez determinado cuales grupos se utilizarán como indicadores del estado del área, se utilizará la metodología propuesta por Villareal et al. 2006 para la evaluación de biodiversidad en bosques de Colombia, la misma que establece los criterios que debe cumplir un grupo o especie dentro de un grupo para que pueda ser considerado como bioindicador.

1. Taxonomía bien conocida y estable. Las especies con que se trabaje deben ser de fácil identificación.
2. Historia natural bien conocida. Entre más numerosos y completos sean los estudios sobre el taxón alrededor del mundo, más respaldo se tendrá para la interpretación de resultados.
3. Taxones superiores con distribución en un amplio rango geográfico. Los taxones y sus especies deben encontrarse en diferentes ecosistemas.
4. Abundantes y de fácil observación y manipulación. No debe ser necesario mucho esfuerzo para encontrar individuos del grupo objeto, al igual que deben ser de fácil reconocimiento.
5. Taxones inferiores (especies y subespecies) con especificidad de hábitat y sensibles a cambios. El grado de sensibilidad del grupo objeto es útil para cuantificar disturbios o impactos si se generan cambios en el hábitat.
6. Grupo altamente diversificado taxonómica y ecológicamente. Es importante que el grupo objeto presente un número de especies tal, que brinde información de lo que se desea contestar a la escala trabajada.
7. Presentar poca estacionalidad. Es importante que las especies del grupo objeto posean pocas fluctuaciones poblacionales relacionadas con los cambios ambientales.
8. Patrones de diversidad extrapolable a otros taxones relacionados y no relacionados. Por ejemplo, con la diversidad de helechos y melastomataceas se puede predecir la

riqueza de árboles en algunos tipos de bosque de la Amazonia (Ruokolainen et al. 1997), o con la de escarabajos cicindélidos se puede predecir la de aves y mariposas a escalas con poco detalle (Pearson y Cassola 1992)

Sistema de evaluación:

Dado que difícilmente muchos grupos pueden cumplir cabalmente todos los criterios expuestos, es necesario evaluarlos para seleccionar aquellos que mejor se ajusten a los objetivos planteados. El siguiente es un ejemplo de categorización de los criterios para la evaluación de grupos indicadores (tomado de Halffter et al. 2001), en el que el criterio de sensibilidad a cambios o disturbios antrópicos es el más importante:

Primero. Se categorizan los criterios en orden inverso de importancia, así:

1. Taxón con amplia distribución y presente en diferentes ecosistemas
2. Patrones de diversidad aplicables a otros taxones relacionados y no relacionados
3. Historia natural bien conocida
4. Abundantes y de fácil observación y manipulación
5. Taxonomía bien conocida
6. Taxones especializados y sensibles a cambios de hábitat

Segundo. Se calcula la importancia de un grupo sumando las puntuaciones de los criterios y se compara con el valor máximo hipotético.

En este ejemplo el valor máximo es:

$1+2+3+4+5+6=21=100\%$. Si por ejemplo, un grupo no cumple el criterio 4 (abundantes, de fácil observación y manipulación), entonces el puntaje es $1+2+3+0+5+6=17=80.95\%$.

Tercero. El resultado en porcentaje puede incluirse en una de las siguientes categorías:

>90% = Muy buen indicador

75-89% = Buen indicador

< 74% = No se sugiere como indicador

El valor porcentual obtenido es el índice para definir si se utiliza o no el grupo evaluado como indicador. Este índice es flexible, se pueden añadir otros criterios tanto biológicos como logísticos, con las justificaciones apropiadas, y darles una categorización de importancia de acuerdo con los objetivos.

5. CONSIDERACIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONSIDERACIONES IMPORTANTES

5.1.1. Importancia del monitoreo

El monitoreo de la biodiversidad es un medio de captación de información sobre el estado del ecosistema y su dinámica de cambio en relación con las actividades humanas que se desarrollan dentro de un territorio. Se basa en el reconocimiento de los cambios potenciales, conformando un proceso de observación regular del estado de variables ambientales estipuladas previamente en un tiempo y área determinados, y su posterior evaluación. Esto implica, entre otras, la distinción entre las fluctuaciones naturales y aquellas producidas por el hombre. Considerando que los cambios no

siempre son perceptibles en el corto plazo, solamente un monitoreo a largo plazo permitirá su detección y la evaluación de sus consecuencias.

La implementación de un programa de monitoreo en éstas microcuencas se constituye en un mecanismo de verificación de impactos, y de detección de cambios dentro de las microcuencas que posibilita, mediante una adecuada gestión, que estos impactos puedan ser evitados y/o minimizados, asegurando al mismo tiempo que las medidas de manejo sean efectivas.

5.1.2. Monitoreo comunitario

El monitoreo comunitario permite la participación activa de las comunidades en los procesos de monitoreo. Las comunidades se apropian de los procesos y permite desarrollar capacidades locales que pueden ser mantenidas en el tiempo.

En el Ecuador existen experiencias previas en monitoreo comunitario de biodiversidad, como en el caso de "AnfiCensus" que fue desarrollado en el norte del país. En esta experiencia, la comunidad se involucró en el monitoreo de anfibios, y por este medio se ha podido establecer la presencia de especies nuevas para la ciencia y se ha consolidado un grupo interesado en la conservación de la biodiversidad de la zona. Además, ha permitido a la comunidad recibir capacitación en educación ambiental y desarrollar guías de campo para la identificación de anfibios de la zona.

La participación de las comunidades locales en el monitoreo (enfoque participativo) reconoce el rol central que los "actores locales" tienen en el uso de los recursos naturales. Esto está basado en el reconocimiento de su vasto acervo de conocimientos y en la búsqueda de una herramienta que permita que estas capacidades trasciendan a ámbitos externos de las comunidades.

Esta participación permite además asegurar la capacidad local para registrar y analizar el cambio, y mejorar las iniciativas de la comunidad local a través de procesos estructurados que enfatizan el aprendizaje compartido. A pesar del desarrollo de esta aproximación en los últimos años, se ha reconocido que la participación de las comunidades locales puede ayudar a cubrir sólo ciertas necesidades, requiriéndose en la práctica, un equilibrio entre rigurosidad científica y participación de la comunidad.

Un programa de monitoreo requiere además de la elaboración de un plan de trabajo en el que se detallan cuáles son los tipos de cambios que se proponen detectar, y cuáles serán los indicadores y la metodología apropiada para evaluarlos. Determina las actividades que se llevarán a cabo, quiénes las realizarán y en qué plazos, y establece cómo la información obtenida retroalimentará la toma de decisiones de manejo del proyecto o de la actividad en cuestión. Identifica las capacidades y necesidades de entrenamiento del equipo de trabajo y estima los costos de implementación.

5.1.3. Evaluación de Indicadores biofísicos

Los indicadores biofísicos propuestos se caracterizan por la necesidad de contar con herramientas y personal especializado en llevarlos a cabo, ya que se centran en el análisis de información georreferenciada con el apoyo de software SIG, sensores remotos y estadística espacial. Por ello llegan a constituir como elementos de análisis útiles, pero para los cuales es necesario considerar una inversión específica para realizarlos.

El análisis de cambio de cobertura vegetal nos proporcionará datos medibles que nos permitirán evaluar al cambio como un indicador infalible. Sin embargo es importante tomar en cuenta que por las características de vegetación remanente propias de la zona de estudio, se pondrán a prueba los indicadores biofísicos de fragmentación, conectividad y efecto de borde. Esto último tomando en cuenta la eventual imposibilidad de llevar a cabo estos análisis por la carencia de vegetación remanente en las áreas seleccionadas.

5.2. RECOMENDACIONES

Con el fin de asegurar la posibilidad de extraer datos reales directamente relacionados con el estado de los recursos naturales de la zona, especialmente del agua, se ve imperiosa la necesidad de implantar una metodología que nos permita conocer cuál es el comportamiento de este recurso. Para ello consideramos que se debe dar prioridad a la colocación de un sistema de monitoreo hidrológico en las dos microcuencas de estudio, el cual nos proporcionará datos que actualmente no existen para el área (a nivel de las microcuencas) durante los 3 años restantes hasta la conclusión del proyecto.

Literatura consultada

Alba-Tercedor, J. y Sánchez, O, 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basada en el de Hellawell (1978). *Limnética*. 4: 51-56.

Barrera, V. H., Cárdenas, F. M. y Monar, C. M. 2006. Diagnóstico participativo con enfoque de género para la subcuenca hidrográfica del río Chimbo.

Bierregaard, R., T. Lovejoy, V. Kapos, A. Dos Santos and R. Hutchings. 1992. The biological dynamics of tropical rainforest fragments. *BioScience* 42: 859-866.

BirdLife International 2005 *BirdLife's online World Bird Database: the site for bird conservation*. Version 2.0. Cambridge, UK: BirdLife International. Available: <http://www.birdlife.org> (visitada Oct/2006)

Blaustein A.R. y Wake D.B. 1990. Declining amphibian populations: A global phenomenon? *Trends in Ecology and Evolution*. 5(7): 203-204.

Briassoulis, Helen, "Análisis of Land Use Change. Theoretical and Modeling Approaches", Department of Geography, University of the Aegean, Lesvos, Greece, 2000.

Cárdenas, A. 2005, " Estudio Multitemporal de cambios en la cobertura vegetal y uso del suelo (1991 - 2005) y modelización prospectiva del cantón Baños", *EcoCiencia*, Quito.

Cerón, C. 1993. Manual de Botánica Ecuatoriana. Universidad Central del Ecuador, Escuela de Biología. Quito.

Chuvieco, E. 1996, "Fundamentos de Teledetección Espacial", Ediciones Rialp, Madrid – España.

Coloma, L. A. 2002. Two new species of *Atelopus* (Anura: Bufonidae) from Ecuador. *Herpetologica* 58 (2): 229-252

Coloma, L. A. y Quiguango-Ubillús, A. 2000-2005. Anfibios de Ecuador: lista de especies y distribución altitudinal. [en línea]. Ver. 1.4 (30 Septiembre 2005). Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador. <http://www.puce.edu.ec/zoologia/vertebrados/amphibiawebec/index.html> [Consulta: 2/Oct/2006].

Cuesta, F., F. Baquero, A. Ganzenmuller, B. Rivera, M. Sáenz, G. Riofrío, M. L. Larrea, R. Cisneros y K. Beltrán. 2005. Evaluación ecorregional de los páramos y bosques montanos de la Cordillera Real Oriental: componente terrestre. *EcoCiencia*, The Nature Conservancy. Quito-Ecuador

Cuesta, F., A. Ganzenmuller, F. Baquero, S. Benítez, O. Hernández y R. Polanco. 2005. Análisis de viabilidad e integridad ecológica de los objetos de conservación. *EcoCiencia*, The Nature Conservancy, Quito – Ecuador.

DIVA. 2000. Oyacachi – La gente y la biodiversidad. Centro para la investigación de la diversidad cultural y biológica de los bosques pluviales andinos (DIVA), Dinamarca y Ediciones Abya Yala, Ecuador. 1ra edición en español.

Dunning, J.B.; Danielson, B.J.; Pulliam, H.R. 1992. Ecological processes that affect populations in complex landscapes. *Oikos*. 65: 169-175.

EcoCiencia & Ministerio del Ambiente. 2005. Indicadores de biodiversidad para uso nacional, ecosistemas terrestres continentales: datos, análisis y experiencia. EcoCiencia & MAE. Quito.

Emmons, L. H. y F. Feer. 1997. Neotropical rainforest mammals, a field guide. 2da ed. The University of Chicago Press. Chicago.

Favila, M. E. y G. Halffter. 1997. The use of indicator groups for measuring biodiversity as related to community structure and function. *Acta Zoológica Mexicana*, 72: 1-25.

Farrow, A. y A. Nelson, 2001. "Accessibility Modelling in ArcView 3. "An extension for computing travel time and market catchment information". CIAT.

Flowers, W. 2006. Trip report: Ecuador June 24-30, 2006. SANREM-CRSP

Freile, J. F., Moreano, M., Bonaccorso, E., Santander, T., y Chaves, J. Notas sobre la historia natural, distribución y conservación de algunas especies de aves amenazadas del suroccidente de Ecuador. *Cotinga* 21: 18-24

Frolich, L.M., Schultz, N., Almeida, D., & Nogales, F. 2003. Las Ranas de Los Andes Norte de Ecuador: Cordillera Oriental. Quito-Ecuador: Ediciones Abya Yala.

Funk, C. W., D. Almeida-Reinoso, F. Nogales-Sonorsa, M. R. Bustamante. 2003. Monitoring population trends of *Eleutherodactylus* Frogs. *Journal of Herpetology*. (37): 245–256

Goitia, E., y Maldonado, M. 1992. Evaluación de la Calidad de Agua del Río Rocha Mediante Organismos Bentónicos. Recursos Hídricos y Medio Ambiente. Primer Seminario de Recursos Hídricos y Medio Ambiente en Bolivia. 191 - 196.

González del Támago, et. al. 1984. Desarrollo de un índice biológico para estimar la calidad de las aguas de la cuenca del Duero. *Limnética* 1: 263-272. Citado en Goitia, E., y Maldonado, M. 1992. Evaluación de la Calidad de Agua del Río Rocha Mediante Organismos Bentónicos. Recursos Hídricos y Medio Ambiente. Primer Seminario de Recursos Hídricos y Medio Ambiente en Bolivia. 194p

Hofstede, R., Segarra, P., y Mena, P. 2003. Los páramos del mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. Global Peatland Initiative/NC-IUCN/EcoCiencia. Quito.

Houlahan, J. E.; Findlay, C. S.; Schmidtt, B. R.; Meyer, A. H.; Kuzmin, S. L. 2000. Quantitative evidence for global amphibian population declines. *Nature*, 404: 752-755.

Jones, C., W. J. Mcshea, M. J. Conroy, and T. H. Kunz. 1996. Capturing mammals. In *Measuring and monitoring biological diversity: Standard methods for mammals*, D. E.

Wilson, F. R. Cole, J. D. Nicholas, R. Rudran, and M. S. Foster (eds.). Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., pp. 115–155.

Lunetta, R. y C. Elvidge, 1998, "Remote sensing change detection, Environmental monitoring methods and applications", Sleeping Bear Press Inc., United States of America.

Marsh & Pearman 1997 citado en With K.A. and King A.W. 1999. Extinction thresholds for species in fractal landscapes. *Conserv. Biol.* 13: 314–326.

Martínez, C. 2005, " Estudio Multitemporal de cambios en la cobertura vegetal (1979 – 2004) y modelización prospectiva en la provincia de Cotopaxi", *EcoCiencia*, Quito.

Molina, C., O. Fossati y R. Marín. 2006. Ensayo de un método para el estudio de macroinvertebrados acuáticos en un río contaminado de la ciudad de la Paz - Bolivia. Universidad de Chile, *Ciencia Abierta Internacional*. Vol. 29, [online] [Http://cabierta.uchile.cl/revista/29/mantenedor/sub/articulos_1.pdf](http://cabierta.uchile.cl/revista/29/mantenedor/sub/articulos_1.pdf)

Noss, R. F. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation biology*. 4: 355 – 364.

Opdam, P. 1991. Metapopulation theory and habitat fragmentation: a review of holarctic breeding bird studies. *Landscape Ecology* vol. 5 no. 2 pp 93-106

Paegelow, M. 2002, y otros, "Modelización prospectiva del paisaje mediante Sistemas de Información Geográfica", Laboratorio GEODE. Universidad de Toulouse Le Mirail, U. de Granada, u. de Jaén. Valladolid, España.

Parrish, J. D., D. P. Braun, and R. S. Unnasch. 2003. Are we conserving what we say we are? Measuring ecological integrity within protected areas. *BioScience*.

Poiani K.A., Richter B.D., Anderson M.G., Richter H.E. 2000. Biodiversity conservation at multiple scales: Functional sites, landscapes, and networks. *BioScience*.

Sánchez, O. 2000. Conservación y manejo de anfibios y reptiles: métodos y técnicas. [Http://www.ine.gob.mx/dgoece/diplomado/download/sanchez2.pdf](http://www.ine.gob.mx/dgoece/diplomado/download/sanchez2.pdf)

Simmons, N. B. y R. S. Voss. 1998. The mammals of Paracou, French Guiana: a Neotropical lowland rainforest fauna. Part 1. Bats. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 237: 1–219

Solari, S., J. J. Rodríguez, E. Vivar y P. M. Velasco 2002. A framework for assessment and monitoring of small mammals in a lowland and tropical forest. 76(1): 89-104. In: F. Dallmeier, A. Alonso y P. Campbell (Eds.) *Biodiversity monitoring and assessment for adaptive management: linking conservation and development*. Environmental Monitoring and Assessment. Printed in the Netherlands.

Stebbins, R.C., y N.W. Cohen. 1995. *A natural history of amphibians*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA. 316 pp.

Stotz, D.F., J.W. Fitzpatrick, T.A. Parker, y D.K. Moskovits. 1996. *Neotropical Birds. Ecology and Conservation*. Univ. of Chicago Press. Chicago. 478 pp.

Suárez, L. y P.A. Mena (eds.). 1994. Manual de Métodos para Inventarios de Vertebrados Terrestres. Ecociencia. Quito.

Thorner, R., Willians, P. 1997. The response of benthic macroinvertebrates to pollution in developing countries: a multimetric system of bioassessment. *Freshwater Biology*, 37: 671 - 686.

Tirira, D. 2006. Mamíferos del Ecuador: Página en Internet. Versión 1.2. Ediciones Murciélagos Blanco. Quito.
<<http://www.terraecuador.net/mamiferosdeecuador.htm>> [Consulta: 2006-10-01]

Villarreal H., M. Álvarez, S. Córdoba, F. Escobar, G. Fagua, F. Gast, H. Mendoza, M. Ospina y A.M. Umaña (2006). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Segunda edición. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia.

Voss, R.S. y Emmons, L.H. 1996. Mammalian Diversity in Neotropical Lowland Rainforests: A preliminary Assessment. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, N° 230, New York.

Wake, D. B. 1994. Foreword. Pp. xv-xvi en: Heyer, R. W., M. A. Donnelly, R. W. McDiarmid, L. C. Hayek y M. S. Foster (eds.). *Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods for Amphibians*. Smithsonian Institution Press, Washington, D. C., 364 pp.

Walsh, S., Kelley A. 2002, "Linking people, place and policy, a GIScience approach", Kluwer Academic Publishers, United States of America.

Wilson, D. E., J. D. Nichols, R. Rudran y C. Southwell. 1996. Introduction. Págs. 1-7 en: D. E. Wilson, F. R. Cole, J. D. Nichols, R. Rudran y M. S. Foster (eds.), *Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for mammals*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.

With K.A. and King A.W. 1999. Extinction thresholds for species in fractal landscapes. *Conserv. Biol.* 13: 314–326.